



(19)

(11)

EP 1 260 798 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

27.11.2002 Patentblatt 2002/48

(51) Int Cl. 7: G01F 1/84

(21) Anmeldenummer: 01112546.5

(22) Anmeldetag: 23.05.2001

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TRBenannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI(71) Anmelder: Endress + Hauser Flowtec AG  
CH-4153 Reinach BL 1 (CH)

(72) Erfinder:

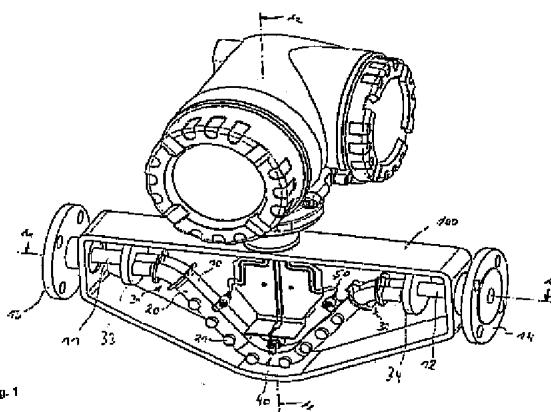
- Bitto, Ennio  
4147 Aesch (BL) (CH)
- Lorenz, Rainer  
79540 Lörrach (DE)

- Rieder, Alfred Dr.  
84032 Landshut (DE)
- Schütze, Christian  
4055 Basel (BS) (CH)
- Wenger, Alfred Dr.  
8413 Neftenbach (CH)
- Fuchs, Michael  
79427 Eschbach (DE)
- Anklin, Martin Dr.  
4147 Aesch, BL (CH)
- Drahm, Wolfgang Dr.  
85435 Erding (DE)

## (54) Messwandler vom Vibrationstyp

(57) Der Meßwandler umfaßt ein gekrümmtes, im Betrieb vibrierendes Meßrohr (10) zum Führen des Fluids sowie einen zum Meßrohr (10) im wesentlichen parallelen, im Betrieb gegenphasig oszillierenden Gegenschwinger (20). Meßrohr (10) und Gegenschwinger (20) sind einlaßseitig mittels eines Kopplers (31) und auslaßseitig mittels eines Kopplers (32) mechanisch miteinander verbunden. Ferner kommuniziert das Meßrohr (10) über ein einlaßseitig mündendes Einlaßrohrstück (11) und über ein auslaßseitig mündendes Auslaßrohrstück (12) mit der Fluid führenden Rohrleitung. Eine Erregeranordnung (40) des Meßwandlers läßt Meßrohr (10) und Gegenschwinger (20) bei einer Erregerfrequenz  $f_{exc}$  vibrieren während eine Sensoranordnung (50) einlaßseitige und auslaßseitige Schwingungen des Meßrohrs (10) erfaßt. Ein von wenigstens dem Meßrohr (10), dem Gegenschwinger (20), der Erregeranordnung (40) und der Sensoranordnung (50) gebildetes Innenteil pendelt im Betrieb um eine mit dem Einlaß- und dem Auslaßrohrstück (11, 12) im wesentlichen fluchtende Längsachse ( $A_1$ ) des Meßwandlers und erzwingt so auch eine Drehung der Koppler (31, 32) um die Längsachse ( $A_1$ ) und zumindest abschnittsweise eine im wesentlichen torsionale, elastische Verformung des Einlaßbündel des Auslaßrohrstücks (11, 12). Um ein möglichst drehweiches Pendelnlassen des Innenteils zu erreichen sind zumindest der Koppler (31), abgestimmt auf eine Torsionssteifigkeit des Einlaßrohrstücks (11), und zumindest der Koppler (32), abgestimmt auf eine Torsionssteifigkeit des Auslaßrohrstücks (12), so

bemessen, daß ein einlaßseitiger inhärenter Torsioneigenmode von Koppler (31) und Einlaßrohrstück (11) eine zur Erregerfrequenz  $f_{exc}$  in etwa gleiche Eigenfrequenz  $f_1$  und ein auslaßseitiger inhärenter Torsioneigenmode von Koppler (32) und Auslaßrohrstück (12) eine zur Eigenfrequenz  $f_1$  im wesentlichen gleiche Eigenfrequenz  $f_2$  aufweisen. Der Meßwandler ist dadurch trotz der Verwendung nur eines einzigen, gekrümmten Meßrohrs, im Betrieb über einen weiten Fluiddichtebereich dynamisch gut ausbalanciert.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen, insb. für eine Verwendung in einem Coriolis-Massedurchflußmesser geeigneten, Meßwandler vom Vibrationstyp.

[0002] Zur Ermittlung eines Massedurchflusses eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids, insb. einer Flüssigkeit, werden oftmals solche Meßgeräte verwendet, die mittels eines Meßwandlers vom Vibrationstyp und einer daran angeschlossener Steuer- und Auswerteelektronik, im Fluid Corioliskräfte bewirken und von diesen abgeleitet ein den Massedurchfluß repräsentierendes Meßsignal erzeugen.

[0003] Solche Meßwandler, insb. auch deren Verwendung in Coriolis-Massedurchflußmessern, sind bereits seit langem bekannt und im industriellen Einsatz. So ist z.B. in der US-A 55 49 009 Coriolis-Massedurchflußmesser mit jeweils einem Meßwandler vom Vibrationstyp beschrieben, welcher Meßwandler auf einen Massedurchfluß eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids reagiert und welcher Meßwandler umfaßt:

- ein im Betrieb vibrierendes, gekrümmtes Meßrohr zum Führen des Fluids, welches Meßrohr über ein einlaßseitig mündendes Einlaßrohrstück und über ein auslaßseitig mündendes Auslaßrohrstück mit der Rohrleitung kommuniziert,
- ein zum Meßrohr im wesentlichen paralleler und gegenphasig oszillierender Gegenschwinger, der mit dem Meßrohr
  - einlaßseitig mittels eines wenigstens ersten Kopplers und
  - auslaßseitig mittels eines wenigstens zweiten Kopplers mechanisch verbunden ist,
- eine Erregeranordnung zum Antreiben des Meßrohrs und des Gegenschwingers bei einer Erregerfrequenz sowie
- eine Sensoranordnung zum Erfassen einlaßseitiger und auslaßseitiger Schwingungen des Meßrohrs,
- wobei eine Torsionssteifigkeit des Einlaßrohrstücks und eine Torsionssteifigkeit des Auslaßrohrstücks so aufeinander und auf ein von beiden getragenes, wenigstens von dem Meßrohr, dem Gegenschwinger, der Erregeranordnung und der Sensoranordnung gebildetes Innenteil so abgestimmt sind, daß letzteres im wesentlichen drehweich aufgehängt ist.

[0004] Gekrümmte, z.B. U-, V- oder  $\Omega$ -artig geformte, vibrierende Meßrohre können bekanntlich, angeregt zu Auslegerschwingungen gemäß einer ersten Eigenschwingungsform, im hindurchströmenden Fluid Corioliskräfte bewirken. Als erste Eigenschwingungsform des Meßrohrs wird bei derartigen Meßwandlern üblicherweise jene Eigenschwingungsform gewählt, bei denen

das Meßrohr bei einer niedrigsten natürlichen Resonanzfrequenz um eine gedachte Längsachse des Meßwandlers pendelt.

[0005] Die so im Fluid erzeugten Corioliskräfte wiederum führen dazu, daß den angeregten, pendelartigen Auslegerschwingungen des sogenannten Nutzmodus Auslegerschwingungen gemäß einer wenigstens zweiten Eigenschwingungsform gleichfrequent überlagert werden. Bei Meßwandlern der beschriebenen Art entsprechen diese durch Corioliskräfte erzwungenen Auslegerschwingungen, dem sogenannten Coriolismodus, üblicherweise jener Eigenschwingungsform, bei denen das Meßrohr auch Drehschwingungen um eine senkrecht zur Längsachse ausgerichtete gedachte Hochachse ausführt. Aufgrund der Überlagerung von Nutz- und Coriolismodus weisen die mittels der Sensoranordnung einlaßseitig und auslaßseitig erfaßten Schwingungen des Meßrohrs eine auch vom Massedurchfluß abhängige, meßbare Phasendifferenz auf.

[0006] Häufig werden die Meßrohre derartiger, z.B. in Coriolis-Massedurchflußmessern eingesetzte, Meßwandler im Betrieb auf einer momentanen Resonanzfrequenz der ersten Eigenschwingungsform, insb. bei konstantgeregelter Schwingungsamplitude, angelegt. Da diese Resonanzfrequenz insb. auch von der momentanen Dichte des Fluids abhängig ist, kann z.B. mittels marktüblicher Coriolis-Massedurchflußmessern neben dem Massedurchfluß auch die Dichte von strömenden Fluiden gemessen werden.

[0007] Ein Vorteil einer gekrümmten Rohrform besteht z.B. darin, daß aufgrund thermisch bedingter Ausdehnungen, insb. auch bei der Verwendung von Meßrohren mit einem hohen Ausdehnungskoeffizienten, praktisch keine oder nur sehr geringfügige mechanische Spannungen im Meßrohr selbst und/oder in der angeschlossenen Rohrleitung hervorgerufen werden. Ein weiterer Vorteil gekrümmter Meßrohre ist aber auch darin zu sehen, daß das Meßrohr relativ lang ausgeführt und somit eine hohe Empfindlichkeit des Meßwandlers auf den zu messenden Massedurchfluß bei einer relativ kurzen Einbaulänge und bei relativ niedriger Erregerenergie erzielt werden kann. Diese Umstände ermöglichen es, das Meßrohr auch aus Materialien mit einem hohen Ausdehnungskoeffizienten und/oder hohen Elastizitätsmodul, wie z.B. Edelstahl, herzustellen.

[0008] Im Vergleich dazu wird bei Meßwandlern vom Vibrations-Typ mit geradem Meßrohr, letzteres zur Vermeidung von axialen Spannungen und zur Erzielung einer ausreichenden Meßempfindlichkeit üblicherweise aus einem Material gefertigt, das zumindest einen niedrigeren Ausdehnungskoeffizienten und ggf. auch einen niedrigeren Elastizitätsmodul als Edelstahl aufweist. Daher werden für diesen Fall bevorzugt Meßrohre aus Titan oder Zirkonium verwendet, die jedoch aufgrund des höheren Materialpreises und des üblicherweise auch höheren Bearbeitungsaufwands weitaus teurer als die aus Edelstahl gefertigten sind.

[0009] Meßwandler nach der Art, wie sie in der US-A

55 49 009 vorgeschlagen sind, also mit einem, insb. einzigen, gekrümmten Meßrohr und mit einem, insb. zum Meßrohr parallelen, Gegenschwinger, haben sich vor allem bei solchen Anwendungen bewährt, bei denen das zu messende Fluid eine im wesentlich konstante oder nur in einem sehr geringen Maße veränderliche Dichte aufweist. Für diese Anwendungen ist es nämlich ohne weiteres möglich, mittels des im Betrieb zum Meßrohr gleichfrequent, jedoch gegenphasig oszillierenden Gegenschwingers solche Querkräfte nahezu vollständig zu neutralisieren und somit von der angeschlossenen Rohrleitung weitgehend fern zu halten, die aufgrund wechselseitiger lateraler Bewegungen des pendelnden Meßrohrs im Meßwandler induziert worden sind.

[0010] Demgegenüber weist ein derartiger Meßwandler bei Anwendung für Fluide mit in einem weiten Bereich schwankender Dichte, insb. im Vergleich zu solchen Meßwandlern mit zwei parallelen Meßrohren, praktisch den gleichen Nachteil auf wie ein Meßwandler ohne Gegenschwinger.

[0011] Es hat sich nämlich gezeigt, daß für diesen Fall die vorgenannten, im Meßwandler intern erzeugten Kräfte mittels eines solchen Gegenschwingers auch nicht vollständig kompensiert werden können. Dies wiederum kann dazu führen, daß das oben erwähnte Innenteil, gesamtheitlich um die Längsachse des Meßwandlers pendelnd, auch lateral zu schwingen beginnt. Diese lateralen Schwingungen des Innenteils erzwingen dementsprechend auch eine zusätzliche elastische Verformung des Einlaß- und des Auslaßrohrstücks und können so folglich auch in der angeschlossenen Rohrleitung Biegeschwingungen bewirken. Außerdem können aufgrund solcher lateraler Schwingungen auch im nicht von Fluid durchströmten Meßrohr dem Coriolismode sehr ähnliche und somit von diesem praktisch nicht unterscheidbare Auslegerschwingungen angestoßen werden, was dann wiederum das eigentlich den Massedurchfluß repräsentierende Meßsignal unbrauchbar machen würde.

[0012] Andererseits weist ein Meßwandler mit einem einzigen Meßrohr gegenüber einem mit zwei parallel durchströmten Meßrohren bekanntlich den großen Vorteil auf, daß dem Verbinden der Meßrohre mit der Rohrleitung dienende Verteilerstücke nicht erforderlich sind. Solche Verteilerstücke sind zum einen aufwendig zu fertigen und zum anderen stellen sie auch Strömungskörper mit einer hohen Neigung zur Ansatzbildung oder zur Verstopfung dar.

[0013] Ein Möglichkeit zur Reduzierung von dichteabhängigen Querkräften ist z.B. in der US-A 52 87 754 oder in der US-A 57 05 754 beschrieben. Bei dort gezeigten Meßwandlern werden die seitens des vibrierenden einzigen Meßrohrs erzeugten, eher mittel- oder hochfrequent oszillierenden Querkräfte mittels eines im Vergleich zum Meßrohr eher schweren Gegenschwingers und ggf. einer relativ weichen Ankopplung des Meßrohrs an die Rohrleitung, also praktisch mittels ei-

nes mechanischen Tiefpasses, von der Rohrleitung, fern gehalten. Ungünstigerweise steigt hierbei jedoch die zur Erzielung einer ausreichend robusten Dämpfung der Querkräfte erforderliche Masse des Gegenschwingers überproportional mit der Nennweite des Meßrohrs. Dies stellt einen großen Nachteil für solche Meßwandler dar, da eine Verwendung solch massiger Bauteile nämlich stets einen erhöhten Montageaufwand sowohl bei der Fertigung als auch beim Einbau des Meßgeräts in die Rohrleitung bedeutet. Außerdem läßt es sich hierbei nur noch sehr schwer sicherstellen, daß die mit zunehmender Masse ja auch immer niedriger werdende kleinste Eigenfrequenz des Meßwandlers nach wie vor weit ab von den ebenfalls eher niedrigen Eigenfrequenzen der angeschlossenen Rohrleitung liegt. Somit ist eine Verwendung eines derartigen Meßwandlers in industriell, insb. für Messungen von Flüssigkeiten, einsetzbaren Coriolis-Massedurchflußmeßgeräten eher auf relativ geringe Meßrohr-Nennweiten bis etwa 10 mm begrenzt.

[0014] Ein Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, einen, insb. für einen Coriolis-Massedurchflußaufnehmer geeigneten, Meßwandler anzugeben, der, auch bei einer Verwendung nur eines einzigen, gekrümmten Meßrohrs, im Betrieb über einen weiten Fluiddichtebereich dynamisch gut ausbalanciert ist und der trotzdem von vergleichsweise geringer Masse ist.

[0015] Zur Lösung der Aufgabe besteht die Erfindung in einem Meßwandler vom Vibrationstyp für ein in einer Rohrleitung strömendes Fluid, welcher Meßwandler umfaßt:

- ein gekrümmtes, im Betrieb vibrierendes Meßrohr zum Führen des Fluids, welches Meßrohr über ein einlaßseitig mündendes Einlaßrohrstück und über ein auslaßseitig mündendes Auslaßrohrstück mit der Rohrleitung kommuniziert,
- einen zum Meßrohr im wesentlichen paralleler und im Betrieb gegenphasig oszillierenden Gegenschwinger, der mit dem Meßrohr
  - einlaßseitig mittels eines ersten Kopplers und
  - auslaßseitig mittels eines zweiten Kopplers mechanisch verbunden ist,
- eine Erregeranordnung zum Vibrierenlassen des Meßrohrs und des Gegenschwingers bei einer Erregerfrequenz,
- eine Sensoranordnung zum Erfassen einlaßseitiger und auslaßseitiger Schwingungen des Meßrohrs,
- wobei ein von wenigstens dem Meßrohr, dem Gegenschwinger, der Erregeranordnung und der Sensoranordnung gebildetes Innenteil, pendelnd um eine mit dem Einlaß- und dem Auslaßrohrstück im wesentlichen fluchtende, gedachte Längsachse des Meßwandlers,
- eine Drehung des ersten und des zweiten

- Kopplers um die Längsachse und zumindest abschnittsweise eine im wesentlichen torsionale, elastische Verformung des Einlaß- und des Auslaßrohrstücks erzwingt und
- wobei zum möglichst drehweichen Pendelnlassen des Innenteils,
  - zumindest der erste Koppler, abgestimmt auf eine Torsionssteifigkeit des Einlaßrohrstücks, und
  - zumindest der zweite Koppler, abgestimmt auf eine Torsionssteifigkeit des Auslaßrohrstücks, so bemessen sind, daß
    - ein einlaßseitiger inhärenter Torsionseigenmode von erstem Koppler und Einlaßrohrstück eine zur Erregerfrequenz in etwa gleiche Eigenfrequenz und
    - ein auslaßseitiger inhärenter Torsionseigenmode von zweitem Koppler und Auslaßrohrstück eine zur Eigenfrequenz im wesentlichen gleiche Eigenfrequenz aufweisen.

[0016] Nach einer bevorzugten ersten Ausgestaltung der Erfindung ist die Eigenfrequenz des einlaßseitigen inhärenten Torsionseigenmode kleiner als die Erregerfrequenz.

[0017] Nach einer bevorzugten zweiten Ausgestaltung der Erfindung verläuft der Gegenschwinger im wesentlichen parallel zum Meßrohr.

[0018] Nach einer bevorzugten dritten Ausgestaltung der Erfindung weist der Gegenschwinger eine zum Meßrohr zumindest ähnliche Massenverteilung auf.

[0019] Nach einer bevorzugten vierten Ausgestaltung der Erfindung ist der Gegenschwinger rohrförmig.

[0020] Nach einer bevorzugten fünften Ausgestaltung der Erfindung verläuft der Gegenschwinger im wesentlichen koaxial zum Meßrohr.

[0021] Nach einer bevorzugten sechsten Ausgestaltung der Erfindung ist der Gegenschwinger zum Meßrohr im wesentlich identisch geformt.

[0022] Nach einer bevorzugten siebten Ausgestaltung der Erfindung sind zum Einstellen der Massenverteilung des Gegenschwingers an diesem Massenausgleichskörper angebracht.

[0023] Nach einer bevorzugten achtten Ausgestaltung der Erfindung ist der Gegenschwinger schwerer als das Meßrohr.

[0024] Nach einer bevorzugten neunten Ausgestaltung der Erfindung sind zum Abstimmen des einlaßseitigen Torsionseigenmodes am Einlaßrohrstück ein erster Drehmassenausgleichskörper und zum Abstimmen des auslaßseitigen Torsionseigenmodes am Auslaßrohrstück ein zweiter Drehmassenausgleichskörper starr fixiert.

[0025] Nach einer bevorzugten zehnten Ausgestal-

tung der Erfindung umfaßt der Meßwandler einen zum Einlaßrohrstück im wesentlichen koaxialen ersten Torsionstilger und einen zum Auslaßrohrstück im wesentlichen koaxialen zweiten Torsionstilger.

5 [0026] Nach einer bevorzugten elften Ausgestaltung der Erfindung umfaßt der Meßwandler ein am Einlaßrohrstück und am Auslaßrohrstück fixiertes Wandlergehäuse, das eine niedrigste Eigenfrequenz aufweist, die um mindestens 20% über der Erregerfrequenz liegt.

[0027] Nach einer bevorzugten Weiterbildung besteht die Erfindung in einem Coriolis-Massedurchflußmesser mit einem der vorgenannten Meßwandler.

[0028] Ein Grundgedanke der Erfindung ist es, solche, für den Coriolismode und somit auch für die Messung des Massedurchflusses eher unkritischen Torsionsschwingungen des in vorgenannter Weise aufgängen Innenteil, im wesentlichen hervorgerufen durch gleichphasige Pendelbewegungen von Meßrohr und Gegenschwinger, dazu zu benutzen, die, für die Ausbildung des Coriolismodes und somit auch für die Messung des Massedurchflusses extrem schädlichen, lateralen Querkräfte zu neutralisieren. Das heißt, diese bislang eigentlich auch nicht erwünschten Torsionsschwingungen werden nicht einfach nur nicht unterdrückt, sondern vielmehr gezielt auf ihre mechanische Ankopplung zur Rohrleitung hin abgestimmt so erzeugt, daß mittels dieser Torsionsschwingungen insgesamt eine Vermindeung von Störeinflüssen auf den Meßwandler und so mit eine Verbesserung von dessen Meßeigenschaften erreicht werden.

[0029] Erfindungsgemäß werden dazu ein vom einlaßseitigen Koppler und Einlaßrohrstück gebildeter einlaßseitiger Torsionsschwinger sowie ein vom auslaßseitigen Koppler und Auslaßrohrstück gebildeter auslaßseitiger Torsionsschwinger mechanisch so abgestimmt, daß beide Torsionsschwinger praktisch in Resonanz mit dem pendelnden Innenteil oszillieren. Dies dient dazu, das Innenteil möglichst frei von äußeren Gegenmomenten pendeln zu lassen, so daß dieses vom Einlaß- und Auslaßrohrstück praktisch vollständig entkoppelt ist. Aufgrund dieser Entkopplung ist ein Gesamtdrehimpuls des Innenteils praktisch null. In gleichem Maße wie der Gesamtdrehimpuls werden durch vorgenannte Entkopplung auch ein lateraler Gesamtimpuls des Innenteils, also auch davon abgeleitete und nach außen übertragbare Querkräfte auf null reduziert.

[0030] Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, daß der Meßwandler mit einem relativ geringen mechanischen Mehraufwand praktisch unabhängig von betriebsbedingten Schwankungen einer inneren Gesamtmasse, insb. auch über einen weiten Flüssigkeitsbereich, sehr gut ausbalanciert ist.

[0031] Der erfindungsgemäße Meßwandler zeichnet sich des weiteren dadurch aus, daß Einlaß- und Auslaßrohrstück kurz und somit auch eine Einbaulänge des Meßwandlers insgesamt, bei einer im wesentlichen gleichbleibend hohen Güte der dynamischen Schwin-

gungsentkopplung, erheblich verringert werden kann. Außerdem kann der Meßwandler trotz seiner kurzen Einbaulänge auch sehr leicht ausgeführt werden.

[0032] Nachfolgend werden die Erfindung und weitere Vorteile anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert, das in den Figuren der Zeichnung dargestellt ist. Gleiche Teile sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen. Falls es der Übersichtlichkeit dientlich ist, wird auf bereits erwähnte Bezugszeichen in nachfolgenden Figuren verzichtet.

Fig. 1 zeigt einen Meßwandler vom Vibrations-Typ in einer perspektivischen Seitenansicht,

Fig. 2 zeigt ein an einem Meßwandler gemäß Fig. 1 ermittelbares erstes Kurvendiagramm,

Fig. 3 ein an einem Meßwandler gemäß Fig. 1 ermittelbares zweites Kurvendiagramm und

Fig. 4 zeigt einen Torsionstilger für den Meßwandler.

[0033] In der Fig. 1 ist ein Meßgerät für strömende Fluide mit einem Meßwandler vom Vibrationstyp schematisch dargestellt. Der Meßwandler dient dazu, in einem hindurchströmenden Fluid mechanische Reaktionskräfte, z.B. massendurchflußabhängige Coriolis-Kräfte, dichteabhängige Trägheitskräfte und/oder viskositätsabhängige Reibungskräfte, zu erzeugen, die meßbar, insb. sensorisch erfassbar, auf den Meßwandler zurückwirken. Abgeleitet von diesen Reaktionskräften können so in der dem Fachmann bekannten Weise z.B. ein Massedurchfluß  $m$ , eine Dichte  $\rho$  und/oder eine Viskosität  $\eta$  des Fluids gemessen werden.

[0034] Zum Führen des zu messenden Fluids umfaßt Meßwandler ein, insb. einziges, gekrümmtes Meßrohr 10, das über ein einlaßseitig mündendes Einlaßrohrstück 11 und über ein auslaßseitig mündendes Auslaßrohrstück 12 an eine das Fluid zu- bzw. abführende, hier nicht dargestellte, Rohrleitung angeschlossen ist. Meßrohr 10, Einlaß- und Auslaßrohrstück 11, 12 sind, zueinander sowie zu einer gedachten Längsachse A<sub>1</sub> fluchtend ausgerichtet, in vorteilhafter Weise einstückig ausgeführt, so daß zu deren Herstellung z.B. ein einziges rohrförmiges Halbzeug dienen kann; falls erforderlich können das Meßrohr 10 sowie das Einlaß- und das Auslaßrohrstück 11, 12 aber auch mittels einzelner, nachträglich zusammengefügter, z.B. zusammengeschweißter, Halbzeuge hergestellt werden. Zur Herstellung des Meßrohrs 10 kann hierbei praktisch jedes der für solche Meßwandler üblichen Materialien, wie z.B. Stahl, Hastelloy, Titan, Zirkonium, Tantal etc., verwendet werden.

[0035] Für den bevorzugten Fall, daß der Meßwandler lösbar mit der Rohrleitung zu montieren ist, ist dem Einlaßrohrstück 11 an einem Einlaßende ein erster Flansch 13 und dem Auslaßrohrstück 12 an einem Auslaßende ein zweiter Flansch 14 angeformt; falls erforderlich können Ein- und Auslaßrohrstück 11, 12 aber auch direkt mit der Rohrleitung, z.B. mittels Schweißen oder Hartlöten, verbunden werden.

[0036] Des weiteren ist am Einlaßende des Einlaßrohrstücks 11 und am Auslaßende des Auslaßrohrstück 12, wie auch in der Fig. 1 dargestellt, bevorzugt ein, insb. biege- und torsionsstifftes, Wandergehäuse 100, insb. starr, fixiert, das z.B. kastenförmig oder auch als ein Hohlzylinder ausgeführt sein kann. Das Wandergehäuse 100 kann ferner auch dazu dienen, ein Elektronikgehäuse 200 des Meßgeräts zu halten.

[0037] Wie in der Fig. 1 dargestellt, umfaßt der Meßwandler ferner einen Gegenschwinger 20 für das Meßrohr 10, der mittels eines einlaßseitigen ersten Kopplers 31 an einem Einlaßende des Meßrohrs 10 und mittels eines auslaßseitigen, insb. zum Koppler 31 identisch geformten, zweiten Kopplers 32 an einem Auslaßende des Meßrohrs 10 schwingfähig fixiert ist. Als Koppler 31 können hierbei z.B. eine oder, wie auch in der Fig. 1 gezeigt, zwei Knotenplatten dienen, die in entsprechender Weise einlaßseitig jeweils an Meßrohr 10 und Gegenschwinger 20 befestigt sind; analog dazu kann auch der Koppler 32 mittels auslaßseitig jeweils an Meßrohr 10 und Gegenschwinger 20 befestigten Knotenplatten realisiert werden.

[0038] Der, bevorzugt ebenfalls rohrförmige, Gegenschwinger 20 ist vom Meßrohr 10 beabstandet und zu diesem im wesentlichen parallel ausgerichtet im Meßwandler angeordnet. Meßrohr 10 und Gegenschwinger 20 sind ferner bevorzugt so ausgeführt, daß sie bei einer möglichst identischen äußeren Raumform gleiche oder zumindest einander ähnliche, insb. zueinander proportionale, Massenverteilungen aufweisen. Es kann aber auch von Vorteil sein, den Gegenschwinger 20 nichtidentisch zum Meßrohr 10 zu formen; z.B. kann der Gegenschwinger 20 auch, falls erforderlich, koaxial zum Meßrohr 10 verlaufend im Meßwandler angeordnet sein.

[0039] Bevorzugt ist der Gegenschwinger 20 ferner so ausgeführt, daß er schwerer als das Meßrohr 10 ist.

[0040] Um ein möglichst einfache handhabbares Anpassen des Gegenschwingers 20 auf eine am tatsächlichen Meßrohr wirksame Massenverteilung zu ermöglichen, sind nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung dem Gegenschwinger 20 als diskrete Zusatzmassen dienende Massenausgleichskörper 21, insb. lösbar, aufgesetzt. Die Massenausgleichskörper 21 können z.B. auf entsprechende, von außen am Meßrohr 10 fixierte Stehbolzen aufgeschraubte Scheiben oder auf das Meßrohr aufgeschobene kurze Rohrstücke sein. Ferner kann eine entsprechende Massenverteilung über dem Gegenschwinger 20 z.B. auch durch Ausformen von Längs- oder Ringnuten realisiert werden. Eine für die jeweilige Anwendung geeignete Massenverteilung kann vorab z.B. mittels Finite-Elemente-Berechnungen und/oder mittels entsprechender Kalibriermessungen ohne weiteres ermittelt werden.

[0041] Im Betrieb des Meßwandlers wird das Meßrohr

10, wie bei derartigen Meßwandlern vom Vibrations-Typ üblich, zu Auslegerschwingungen bei einer Erregerfrequenz  $f_{exc}$  so angeregt, daß es sich in diesem sogenannten Nutzmode, um die Längsachse  $A_1$  des Meßwandlers pendelnd, im wesentlichen gemäß einer natürlichen ersten Eigenschwingungsform ausbiegt. Gleichzeitig wird auch der Gegenschwinger 20 zu Auslegerschwingungen angeregt, und zwar so, daß er, zumindest bei ruhendem Fluid, im wesentlichen gleichförmig, jedoch gegenphasig zum im Nutzmode schwingenden Meßrohr 10 oszilliert. Anders gesagt, „Meßrohr 10“ und Gegenschwinger 20 bewegen sich dann nach der Art von schwingenden Stimmgabelzinken.

[0042] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung, ist die Erreger- oder auch Nutzmodefrequenz  $f_{exc}$  dabei so eingestellt, daß sie möglichst genau einer, insb. niedrigsten, natürlichen Eigenfrequenz des Meßrohrs 10 entspricht. Bei einer Verwendung eines aus Edelstahl gefertigten Meßrohrs mit einer Nennweite von 29 mm, einer Wandstärke von etwa 1,5 mm, einer gestreckten Länge von etwa 420 mm und einer gesehnten Länge von 305 mm gemessen vom Einlaß- zum Auslaßende ist, würde die niedrigste Resonanzfrequenz deselben beispielsweise bei einer Dichte von Null in etwa 490 Hz betragen.

[0043] Für den Fall, daß das Fluid in der Rohrleitung strömt und somit der Massedurchfluß  $m$  von Null verschieden ist, werden mittels des in oben beschriebener Weise vibrierenden Meßrohrs 10 im hindurchströmenden Fluid auch Corioliskräfte induziert. Diese wiederum wirken auf das Meßrohr 10 zurück und bewirken so eine zusätzliche, sensorisch erfaßbare Verformung deselben im wesentlichen gemäß einer natürlichen zweiten Eigenschwingungsform. Eine momentane Ausprägung dieses sogenannten, dem angeregten Nutzmode gleichfrequent überlagerten Coriolismodes ist dabei, insb. hinsichtlich ihrer Amplituden, auch vom momentanen Massedurchfluß  $m$  abhängig. Als zweite Eigenschwingungsform kann, wie bei derartigen Meßwandlern üblich, z.B. die Eigenschwingungsform des anti-symmetrischen Twistmodes, also jene, bei der das Meßrohr 10, wie bereits erwähnt, auch Drehschwingungen um eine senkrecht zur Längsachse  $A_1$  ausgerichteten, gedachten Hochachse  $A_2$  ausführt, die in einer einzigen Symmetrieebene des gezeigten Meßwandlers liegt.

[0044] Zum Erzeugen mechanischer Schwingungen des Meßrohrs 10 umfaßt der Meßwandler ferner eine, insb. elektrodynamische, Erregeranordnung 40. Diese dient dazu, eine, beispielsweise von einer im Elektronikgehäuse 200 untergebrachte nichtdargestellten Steuer-Elektronik des oben genannten Coriolis-Masse-durchflußmessers eingespeiste, elektrische Erregerenergie  $E_{exc}$ , z.B. mit einem geregelten Strom und/oder einer geregelten Spannung, in eine auf das Meßrohr 10, z.B. pulsförmig oder harmonisch, einwirkende und dieses in der vorbeschriebenen Weise auslenkende Erregerkraft  $F_{exc}$  umzuwandeln. Für das Einstellen der Erregerenergie  $E_{exc}$  geeignete Steuer-Elektroniken z.B. in

der US-A 47 77 833, der US-A 48 01 897, der 48 79 911 oder der US-A 50 09 109 gezeigt.

[0045] Die Erregerkraft  $F_{exc}$  kann, wie bei derartigen Meßwandlern üblich, bidirektional oder unidirektional ausgebildet sein und in der dem Fachmann bekannten Weise z.B. mittels einer Strom-und/oder Spannungs-Regelschaltung, hinsichtlich ihrer Amplitude und, z.B. mittels einer Phasen-Regelschleife, hinsichtlich ihrer Frequenz eingestellt werden. Als Erregeranordnung 40 kann z.B. eine einfache Tauchspulenanordnung mit einer am Gegenschwinger 20 befestigten zylindrischen Erregerspule, die im Betrieb von einem entsprechenden Erregerstrom durchflossen ist, und einem in die Erregerspule zumindest teilweise eintauchenden dauermagnetischen Anker dienen, der von außen, insb. mittig, am Meßrohr 10 fixiert ist. Ferner kann als Erregeranordnung 40 z.B. auch ein Elektromagnet dienen.

[0046] Zum Detektieren von Schwingungen des Meßrohr 10 umfaßt der Meßwandler außerdem eine Sensoranordnung 50. Als Sensoranordnung 50 kann praktisch jede der für derartige Meßwandler üblichen Sensoranordnungen verwendet werden, die Bewegungen des Meßrohrs 10, insb. einlaßseitig und auslaßseitig, erfaßt und in entsprechende Sensorsignale umwandelt. So kann die Sensoranordnung 50 z.B. in der dem Fachmann bekannten Weise, mittels eines einlaßseitig am Meßrohr 10 angeordneten ersten Sensors und mittels eines auslaßseitigen am Meßrohr 10 angeordneten zweiten Sensors gebildet sein. Als Sensoren können z.B. die Schwingungen relativ messende, elektrodynamische Geschwindigkeitssensoren oder aber auch elektrodynamische Wegsensoren oder Beschleunigungssensoren verwendet werden. Anstelle elektrodynamischer Sensoranordnungen können ferner auch mittels resistiver oder piezo-elektrischer Dehnungsmeßstreifen messende oder opto-elektronische Sensoranordnungen zum Detektieren der Schwingungen des Meßrohrs 10 dienen.

[0047] Wie den vorangegangen Erläuterungen ohne weiteres zu entnehmen, dient der Gegenschwinger 20 praktisch als ein Tragsystem für die Erregeranordnung 40 und die Sensoranordnung 50.

[0048] Gleichwohl dient der Gegenschwinger 20 aber auch dazu, den Meßwandler für genau einen vorherbestimmten, z.B. einen im Betrieb des Meßwandlers am häufigsten erwarteten oder auch einen besonders kritischen, Fluideichtewert soweit dynamisch auszubalancieren, und zwar so, daß im vibrierenden Meßrohr 10 erzeugte, im wesentlichen senkrecht zu Längs- und Hochachse  $A_1$ ,  $A_2$  wirkende Querkräfte schon allein durch seitens des Gegenschwingers 20 erzeugte Gegenkräfte vollständig kompensiert werden, vgl. hierzu auch die US-A 55 49 009. Solche Querkräfte im Meßrohr 10, die bekanntlich bei einer Erregung deselben zu Auslegerschwingungen gemäß seiner ersten Eigenschwingungsform aufgrund von damit einhergehenden Massenbeschleunigungen im Meßrohr 10 erzeugt werden, würden beispielsweise für das oben erwähnte

Edelstahlrohr und bei einer Schwingungsamplitude von etwa 0,03 mm im Bereich von 45 N liegen.

[0049] Für den Fall aber, daß, wie z.B. bei einem Meßwandler gemäß der US-A 55 49 009 ohne weiteres möglich, vorgenannte Querkräfte des Meßrohrs 10 nicht kompensiert werden, werden eine am Einlaßrohrstück 11 und am Auslaßrohrstück 12 aufgehängtes, vom Meßrohr 10, dem Gegenschwinger 20 ggf. mit den daran angebrachten Massenausgleichskörpern 21 sowie der Erreger- und der Sensoranordnung 40, 50 gebildetes Innenteil und in entsprechendem Maße auch die daran fixierten Koppler 31, 32 lateral aus einer zugewiesenen statischen Einbaulage ausgelenkt. Auf diese Weise können die Querkräfte via Einlaß- und Auslaßrohrstück 11, 12 zumindest zum Teil auch auf die angeschlossenen Rohrleitung wirken und diese somit gleichfalls vibrieren lassen. Des weiteren können derartige Querkräfte auch dazu führen, daß das Meßrohr 10, aufgrund einer aus schwingungstechnischer Sicht ungleichmäßigen Aufhängung des Innenteils oder auch des gesamten Meßwandlers, bedingt z.B. durch praktisch unvermeidliche Fertigungstoleranzen, zusätzlich zu Auslegerschwingungen gemäß der zweiten Eigen schwingungsform angeregt wird, die dann vom eigentlichen Coriolismode sensorisch nicht mehr unterscheidbar sind.

[0050] Wie bereits mehrfach erwähnt, kann das Meßrohr 10 allein mittels des Gegenschwingers 20, jedoch nur für einen einzigen Fluiddichtewert, bestenfalls aber nur für einen sehr schmalen Fluiddichtebereich dynamisch ausbalanciert werden.

[0051] Für den Fall, daß eine Masse des, insb. zum Meßrohr 10 identisch geformten, Gegenschwingers 20 kleiner als eine Masse des Fluid führenden Meßrohrs 10 ist, können nämlich das vibrierende Meßrohr 10 und der Gegenschwinger 20 zusätzlich gemeinsame Pendelbewegungen um die Längsachse A<sub>1</sub> ausführen, die zumindest bei ruhendem Fluid zueinander und zu den Auslegerschwingungen des Meßrohrs 10 im wesentlichen gleichphasig sind; für den Fall, daß die Masse des Fluid führenden Meßrohrs 10 kleiner als die Masse des Gegenschwingers 20 ist, können diese gemeinsamen oder auch globalen Pendelbewegungen gleichphasig zu den Auslegerschwingungen des Gegenschwingers 20 ausgebildet sein. Anders gesagt, bedingt durch, insb. dichteabhängige, Unbalancen zwischen Meßrohr 10 und Gegenschwinger 20 kann das gesamte Innenteil im Betrieb Torsionsschwingungen um die Längsachse A<sub>1</sub> ausführen, die zu den Auslegerschwingungen des Meßrohrs 10 oder zu denen des Gegenschwingers 20 gleichphasig sind.

[0052] Aufgrund dieser Torsionsschwingungen des Innenteils erfahren auch die beiden praktisch starr mit dem Innenteil verbundenen Koppler 31, 32 eine entsprechende torsionale Verdrehung um die Längsachse A<sub>1</sub>, d.h. auch sie schwingen, und zwar, sowohl zum Innenteil als auch zueinander gleichphasig. In gleichem Maße wird zumindest abschnittsweise eine im wesent-

lichen torsionale, elastische Verformung des am Wandergehäuse 100 und am Meßrohr 10 schwingfähig fixierten Einlaß- und des Auslaßrohrstücks 11, 12 erzwungen.

5 [0053] Es hat sich hierbei nun überraschenderweise gezeigt, daß lediglich durch ein geeignetes Abstimmen vorgenannter Torsionsschwinger, nämlich des Einlaßrohrstücks 11 zusammen mit dem Koppler 31 und des Auslaßrohrstück 12 zusammen mit dem Koppler 32, der Meßwandler praktisch unabhängig von der Dichte  $\rho$  des Fluids dynamisch ausbalanciert und so eine Empfindlichkeit auf intern erzeugte Querkräfte erheblich verringert werden kann.

10 [0054] Erfindungsgemäß sind dazu ein wenigstens mittels des des Kopplers 31 eingestelltes Massenträgheitsmoment um die Längsachse A<sub>1</sub> und eine Torsionssteifigkeit des Einlaßrohrstücks 11 so aufeinander abgestimmt, daß ein einlaßseitiger inhärenter, also praktisch nur zu berechnender, Torsionseigenmode von 15 Koppler 31 und Einlaßrohrstück 11 um die Längsachse A<sub>1</sub> eine zur Erregerfrequenz  $f_{exc}$  im wesentlichen gleiche oder aber auch eine kleinere Eigenfrequenz  $f_1$  aufweist. Des weiteren sind mittels wenigstens des Kopplers 32 ein Massenträgheitsmoment um die Längsachse A<sub>1</sub> und eine Torsionssteifigkeit des Auslaßrohrstücks 12 so aufeinander abgestimmt, daß ein auslaßseitiger inhärenter Torsionseigenmode von Koppler 32 und Auslaßrohrstück 12 um die Längsachse A<sub>1</sub> eine zur Eigenfrequenz  $f_1$  im wesentlichen gleiche Eigenfrequenz  $f_2$  aufweisen. Bei dem in der Fig. 1 gezeigten Meßwandler sind außerdem auch jene zwischen den beiden Knotenplatten des Kopplers 31 verlaufenden, praktisch nicht vibrierenden Rohrsegmente bei der Dimensionierung des Massenträgheitsmoments für die Abstimmung des einlaßseitigen Torsionseigenmodes zu berücksichtigen; in entsprechender Weise sind auch die zwischen den beiden Knotenplatten des Kopplers 32 verlaufenden Rohrsegmente bei der Abstimmung des auslaßseitigen Torsionseigenmodes dem Massenträgheitsmoment des Kopplers 32 zuzuschlagen.

20 [0055] Aufgrund einer Abstimmung von Nutzmode und Torsionseigenmode in der beschriebenen Weise wird erreicht, daß das Innenteil, das im Betrieb gleichfrequent mit dem bei der Erregerfrequenz  $f_{exc}$  schwingenden Meßrohr 10 pendelt, praktisch genau den einlaßseitigen und den auslaßseitigen Torsionseigenmode anstößt. Für diesen Fall, setzen die beiden, auf ihrer jeweiligen Eigenfrequenz  $f_1$  bzw.  $f_2$  und zwangsläufig auch gleichphasig mit dem Innenteil schwingenden Torsionsschwinger dessen Torsionsschwingungen keine oder nur noch sehr geringe Gegenmomente entgegen. Somit ist das Innenteil im Betrieb so drehweich gelagert, daß es praktisch als vom Einlaß- und vom Auslaßrohrstück 11, 12 völlig entkoppelt angesehen werden kann.

25 [0056] Wegen der Tatsache, daß das Innenteil trotz einer praktisch vollständigen Entkopplung im Betrieb um die Längsachse A<sub>1</sub> pendelt und nicht rotiert, kann folglich auch kein Gesamtdrehimpuls des Innenteils exi-

stieren. Dadurch aber sind auch ein vom Gesamtdrehimpuls, insb. bei ähnlichen Massenverteilungen im Meßrohr 10 und im Gegenschwinger 20, nahezu direkt abhängiger lateraler Gesamtdrehimpuls und somit auch von diesem abgeleitete, laterale Querkräfte, die vom Innen teil nach außen übertragen werden können, ebenfalls gleich null. Anders gesagt, beim erfundungsgemäßen Meßwandler führen dichteabhängige Unbalancen fast ausschließlich zur Änderung einer momentanen Amplitude der Torsionsschwingungen des Innenteils jedoch zu keinen oder nur zu vernachlässigbaren geringen lateralen Verschiebungen deselben aus der ihm zugewiesenen Einbaulage.

[0057] Untersuchungen an Meßwandlern mit oben beschriebenem Edelstahl-Meßrohr haben z.B. gezeigt, daß trotz einer Änderung der Erregerfrequenz  $f_{exc}$  mit einer für derartige Meßwandler üblichen Spannweite von etwa 100 Hz, dies entspricht in etwa einem Fluiddichtebereich zwischen 0 und 2000  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , eine auf das Innenteil wirkende maximale Querkraft  $Q^*$ , normiert auf eine in den Kopplern 31, 32 durch die zueinander gegenphasigen Bewegungen von Meßrohr 10 und Gegenschwinger 20 hervorgerufene, maximale Spannkraft, deutlich unter 5%, also bei etwa 2 N gehalten werden kann, siehe hierzu auch Fig. 2 und 3.

[0058] Für diesen vorgenannten Fall müßte z.B. bei einer Länge  $L_{11}$  des Einlaßrohrstücks 11 von jeweils etwa 170 mm jenes einlaßseitige, zumindest mittels des Kopplers 31 eingestellte Massenträgheitsmoment in etwa  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  betragen, um den zugehörigen Torsionseigenmode in der vorgenannten Weise auf die Erregerfrequenz  $f_{exc}$  einzustellen, vgl. hierzu auch Fig. 2. Die am konkreten Meßwandler zum optimalen Abstimmen des einlaßseitigen und des auslaßseitigen Torsionseigenmode auf den Nutzmode dann einzustellenden Parameter, also entsprechende Massenverteilungen, Massenträgheitsmomente, Torsionssteifigkeiten und daraus abgeleitete geometrische Abmessungen von Meßrohr 10, Gegenschwinger 20, Einlaß- und Auslaßrohrstück 11, 12 sowie der beiden Koppler 31, 32 etc., können z.B. in der dam Fachmann an und für sich bekannten Weise mittels Finiter-Elemente- oder anderer computergestützten Simulationsberechnungen in Verbindung mit entsprechenden Kalibriermessungen ermittelt werden.

[0059] Zur möglichst genauen Abstimmung des einlaßseitigen Torsionseigenmodes, insb. auch bei vorgegebener Einbaulänge des Meßwandlers, sind nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung am Einlaßrohrstück 11, insb. in der Nähe des Kopplers 31, wenigstens ein erster Drehmassenausgleichskörper 33 und in entsprechender Weise zur Abstimmung des auslaßseitigen Torsionseigenmodes am Auslaßrohrstück 12, insb. in der Nähe des Kopplers 32, wenigstens ein zusätzlicher zweiter Drehmassenausgleichskörper 34 starr fixiert. Die, insb. zueinander identisch geformten, Drehmassenausgleichskörper 33, 34 sind bevorzugt scheibenförmig ausgeführt und können sowohl, wie z.

B. in der Fig. 1 gezeigt, konzentrisch, also mit einem jeweiligen Massenschwerpunkt auf der Längsachse  $A_1$  liegend, als auch exzentrisch am Einlaß- bzw. am Auslaßrohrstück 11, 12 angebracht sein. Für den gezeigten

5 Meßwandler kann obengenanntes Massenträgheitsmoment von  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  z.B. so in sehr einfacher Weise fast ausschließlich mittels jeweils einer als Drehmassenausgleichskörper 33 bzw. 34 dienenden Kreisringscheibe aus Edelstahl mit einem Scheibendurchmesser von etwa 100 mm und einer Scheibendicke von etwa 1,5 mm realisiert werden.

[0060] Es hat sich ferner gezeigt, daß zur sicheren Vermeidung zueinander gegenphasiger Torsionsschwingungen von einlaßseitigem und auslaßseitigem

15 Torsionsschwinger eine zusätzliche torsionssteife Verbindung der beiden Koppler 31, 32 oder der beiden Drehmassenausgleichskörper 33, 34 zu einem inneren Tragrahmen von Vorteil sein kann. Außerdem ist festgestellt worden, daß die Erregerfrequenz  $f_{exc}$  vorzugsweise auf höchstens 85% einer niedrigsten Eigenfrequenz Wandergehäuses 100 eingestellt sein sollte, das in obigem Sinne praktisch als äußerer Tragrahmen wirkt.

[0061] Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung umfaßt der Meßwandler ferner einen einlaßseitigen ersten Torsionstilger 60 sowie einen, zu diesem im wesentlichen identisch geformten, auslaßseitigen zweiten Torsionstilger 70. Der Torsionstilger 60 dient insb. dazu vom pendelnden Innenteil her

30 hervorgerufene, via Einlaßrohrstück 11 auf die angeschlossene Rohrleitung und/oder das am Einlaßende fixierte Wandergehäuse 100 übertragene Torsionsmomente zu unterdrücken.

[0062] Dazu ist der Torsionstilger 60 am Einlaßende des Einlaßrohrstücks 11 oder zumindest in der Nähe

35 des Einlaßendes, z.B. auch direkt am Wandergehäuse 100, zum Einlaßrohrstück 11 fixiert; in dazu analoger Weise ist der, ebenfalls dem Vermeiden von Torsionsmomenten auf der angeschlossene Rohrleitung und/oder dem Wandergehäuse 100 dienende, zweite Torsionstilger am Auslaßende des Auslaßrohrstücks 12 angebracht.

[0063] Der Torsionstilger 60 umfaßt, wie in Fig. 4 dargestellt, eine, bevorzugt rohrförmige und zum

45 Einlaßrohrstück 11 im wesentlichen koaxial angeordnete, Torsionsfeder 61, die drehschwingfähig, also gegen das Einlaßrohrstück 11 zumindest abschnittsweise verdrehbar am Einlaßende fixiert ist. Des weiteren umfaßt der Torsionstilger 60 einen entfernt vom Einlaßende des

50 Einlaßrohrstücks 11 an der Torsionsfeder angebrachten, bevorzugt scheibenförmigen, Drehmassenkörper 62. Torsionsfeder 61 und Drehmassenkörper 62 sind nunmehr so aufeinander abgestimmt, daß der Torsionstilger 60, im Betrieb durch das sich verdrehende Einlaßrohrstück 11 und/oder durch das sich gleichfalls leicht verformende Wandergehäuse 100 zu Torsionsschwingungen um die Längsachse  $A_1$  angeregt, außерphasig, insb. gegenphasig, zum oben erwähnten ein-

laßseitigen Torsionsschwinger, bestehend aus Koppler 31 und Einlaßrohrstück 11, schwingt. Zur Unterstützung der Anregung des Torsionstilgers 60 kann die Torsionsfeder 61 in vorteilhafter Weise z.B. auch bis hin zum ggf. vorhandenen Drehmassenausgleichskörper 33 oder bis zum Koppler 31 verlängert und an einem der beiden fixiert werden. Dies dient dann auch dazu, allfällige laterale Biegeschwingungen des Torsionstilgers 60 zu unterdrücken.

[0064] Der erfindungsgemäße Meßwandler ist aufgrund seiner guten dynamischen Ausbalancierung auch bei schwankender Dichte  $\rho$  des hindurchströmenden Fluids besonders für eine Verwendung in einem Coriolis-Masse durchfluß-/Dichtemesser oder in einem Coriolis-Masse durchfluß-/Dichte-/Viskositätsmesser geeignet.

#### Patentansprüche

1. Meßwandler vom Vibrationstyp für ein in einer Rohrleitung strömendes Fluid, welcher Meßwandler umfaßt:

- ein gekrümmtes, im Betrieb vibrierendes Meßrohr (10) zum Führen des Fluids, welches Meßrohr (10) über ein einlaßseitig mündendes Einlaßrohrstück (11) und über ein auslaßseitig mündendes Auslaßrohrstück (12) mit der Rohrleitung kommuniziert,
- einen zum Meßrohr (10) im Betrieb gegenphasig oszillierenden Gegenschwinger (20), der mit dem Meßrohr (10)
  - einlaßseitig mittels eines ersten Koppplers (31) und
  - auslaßseitig mittels eines zweiten Koppplers (32) mechanisch verbunden ist,
- eine Erregeranordnung (40) zum Vibrierenlassen des Meßrohrs (10) und des Gegenschwingers (20) bei einer Erregerfrequenz  $f_{exc}$ ,
- eine Sensoranordnung (50) zum Erfassen einlaßseitiger und auslaßseitiger Schwingungen des Meßrohrs (10),
- wobei ein von wenigstens dem Meßrohr (10), dem Gegenschwinger (20), der Erregeranordnung (40) und der Sensoranordnung (50) gebildetes Innenteil, pendelnd um eine mit dem Einlaß- und dem Auslaßrohrstück (11, 12) im wesentlichen fluchtende, gedachte Längsachse ( $A_1$ ) des Meßwandlers,
  - eine Drehung des ersten und des zweiten Koppplers (31, 32) um die Längsachse ( $A_1$ ) und
  - zumindest abschnittsweise eine im wesentlichen torsionale, elastische Verfor-

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

mung des Einlaß- und des Auslaßrohrstücks (11, 12) erzwingt und

- wobei zum möglichst drehweichen Pendelnlassen des Innenteils,
- zumindest der erste Kopppler (31), abgestimmt auf eine Torsionssteifigkeit des Einlaßrohrstücks (11), und
- zumindest der zweite Kopppler (32), abgestimmt auf eine Torsionssteifigkeit des Auslaßrohrstücks (12), so bemessen sind, daß
  - ein einlaßseitiger inhärenter Torsioneigenmode von erstem Kopppler (31) und Einlaßrohrstück (11) eine zur Erregerfrequenz  $f_{exc}$  in etwa gleiche Eigenfrecuenz  $f_1$  und
  - ein auslaßseitiger inhärenter Torsioneigenmode von zweitem Kopppler (32) und Auslaßrohrstück (12) eine zur Eigenfrequenz  $f_1$  im wesentlichen gleiche Eigenfrequenz  $f_2$  aufweisen.
- 2. Meßwandler nach Anspruch 1, bei dem die Eigenfrequenz  $f_1$  des einlaßseitigen inhärenten Torsioneigenmode kleiner als die Erregerfrequenz  $f_{exc}$  ist.
- 3. Meßwandler nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Gegenschwinger (20) zum Meßrohr (10) im wesentlichen parallel verläuft.
- 4. Meßwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem der Gegenschwinger (20) eine zum Meßrohr (10) zumindest ähnliche Massenverteilung aufweist.
- 5. Meßwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der Gegenschwinger (20) rohrförmig ist.
- 6. Meßwandler nach Anspruch 5, bei dem der Gegenschwinger (20) im wesentlichen koaxial zum Meßrohr (10) verläuft.
- 7. Meßwandler nach Anspruch 5, bei dem der Gegenschwinger (20) zum Meßrohr (10) im wesentlich identisch geformt ist.
- 8. Meßwandler nach einem der Ansprüche 4 bis 7, bei dem zum Einstellen der Massenverteilung des Gegenschwingers (20) an diesem Massenausgleichskörper (21) angebracht sind.
- 9. Meßwandler nach einem der Ansprüche 4 bis 8, bei dem der Gegenschwinger (20) schwerer als das Meßrohr (10) ist.

10. Meßwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem zum Abstimmen des einlaßseitigen Torsions-eigenmodes am Einlaßrohrstück (11) ein erster Drehmassenausgleichskörper (33) und zum Ab-stimmen des auslaßseitigen Torsions-eigenmodes am Auslaßrohrstück (12) ein zweiter Drehmassen-ausgleichskörper (34) starr fixiert sind. 5

11. Meßwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 10, der einen zum Einlaßrohrstück (11) im wesentlichen 10 koaxialen ersten Torsionstilger (60) und einen zum Auslaßrohrstück (12) im wesentlichen koaxialen zweiten Torsionstilger (70) umfaßt.

12. Meßwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 11, 15 der ein am Einlaßrohrstück (11) und am Auslaßrohrstück (12) fixiertes Wandergehäuse (100) umfaßt, das eine niedrigste Eigenfrequenz aufweist, die um mindestens 20% über der Erregerfrequenz  $f_{exc}$  liegt. 20

13. Coriolis-Masse-durchflußmesser mit einem Meßwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

25

30

35

40

45

50

55

10

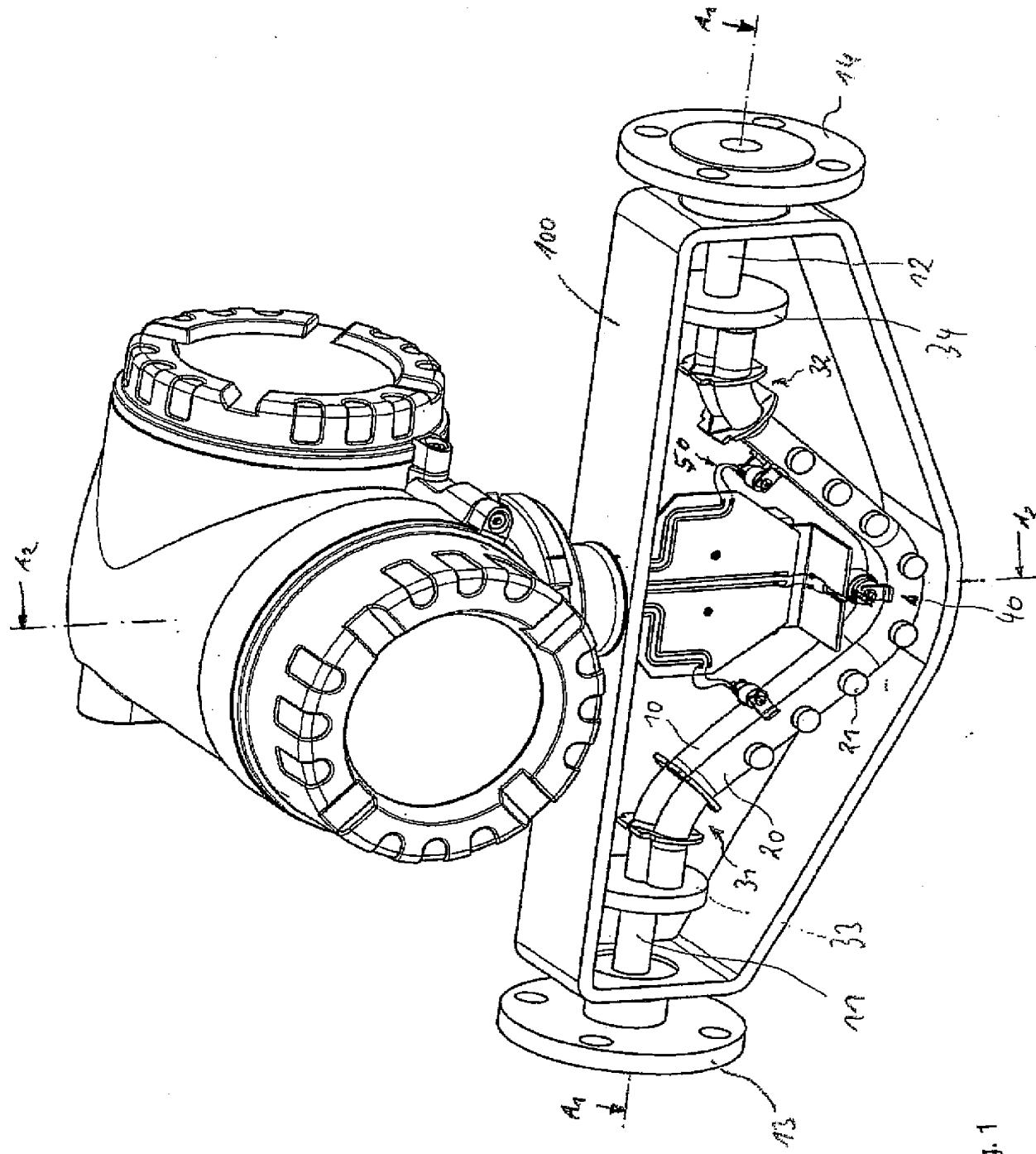


Fig. 1

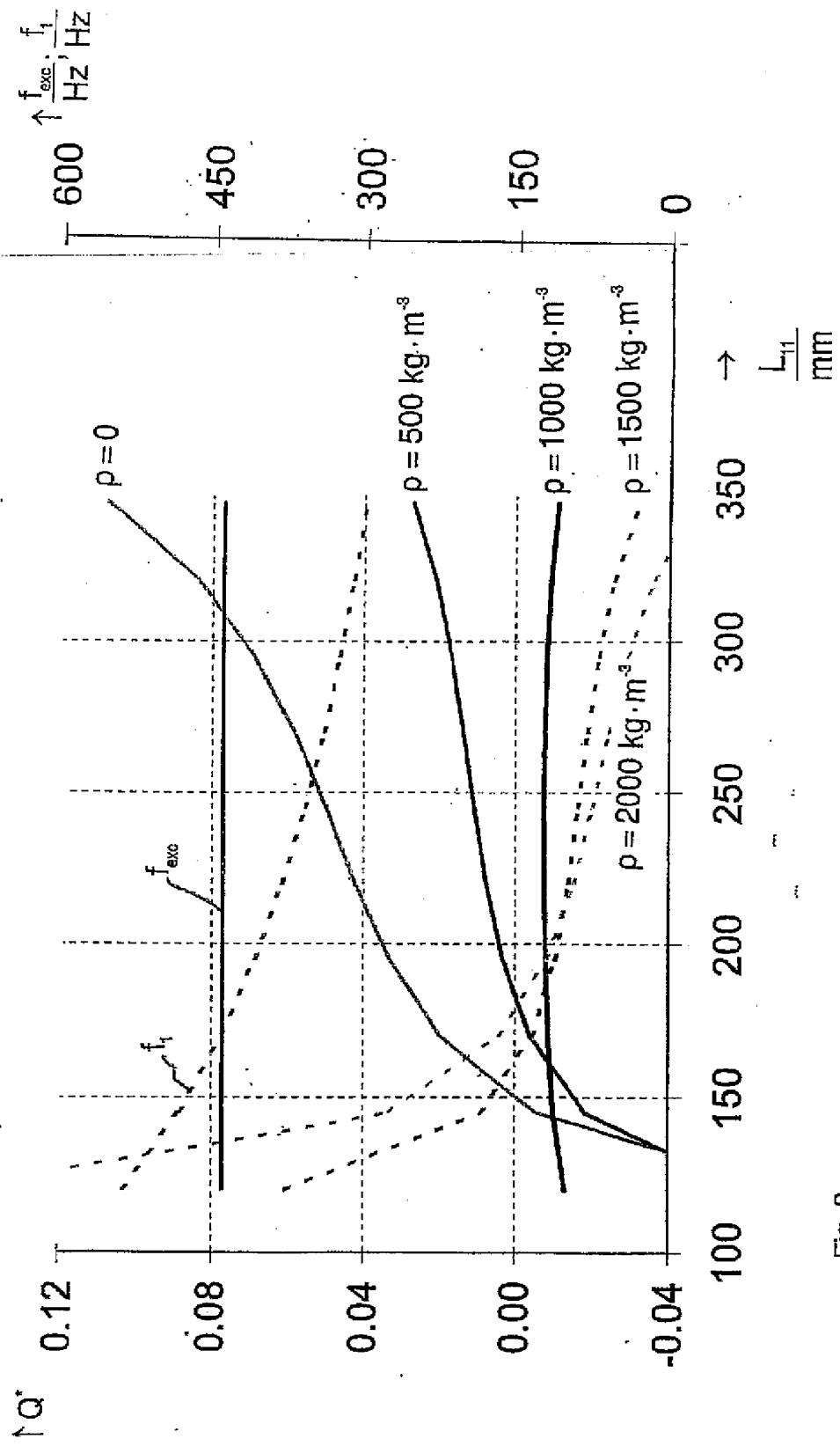


Fig. 2

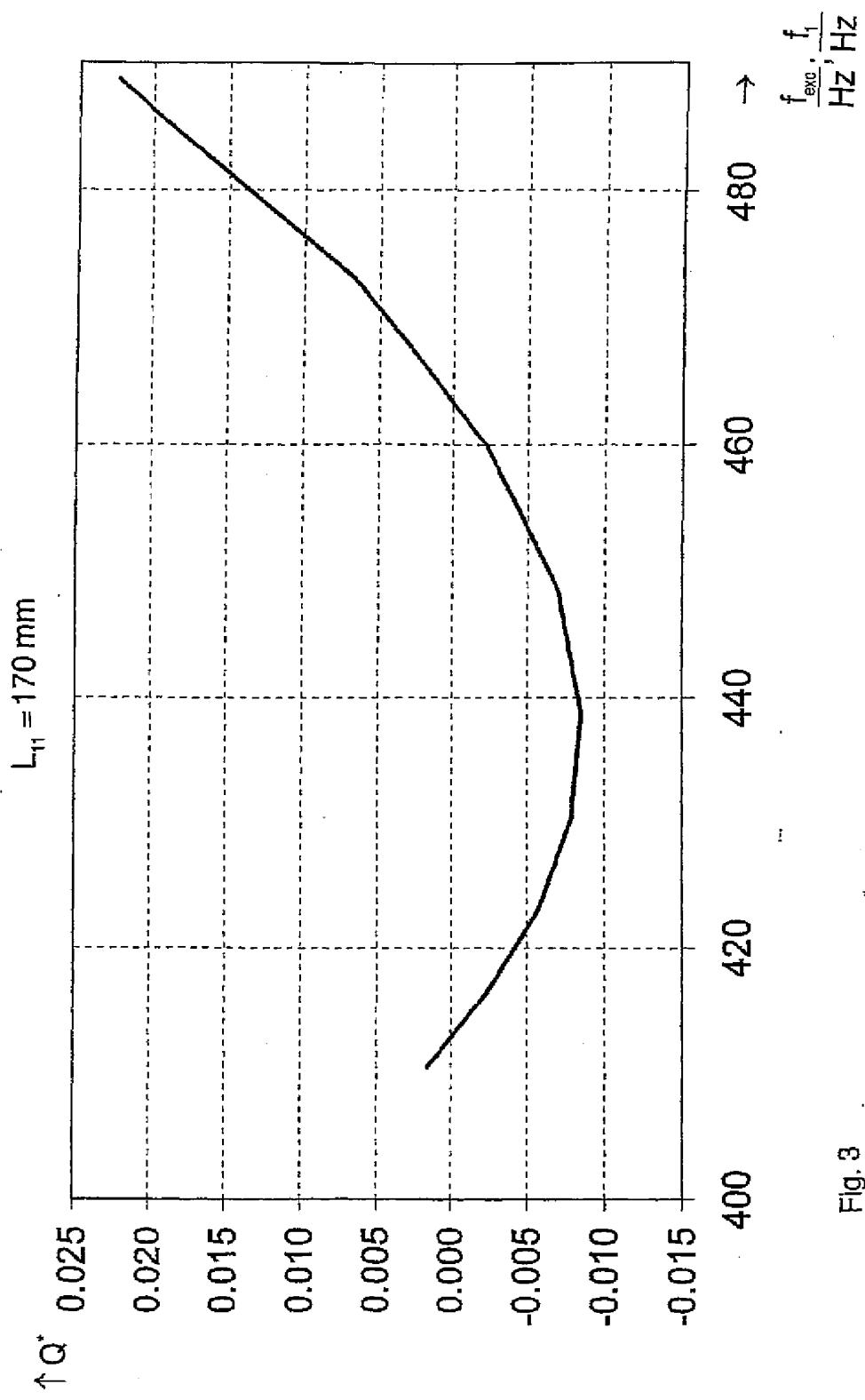


Fig. 3

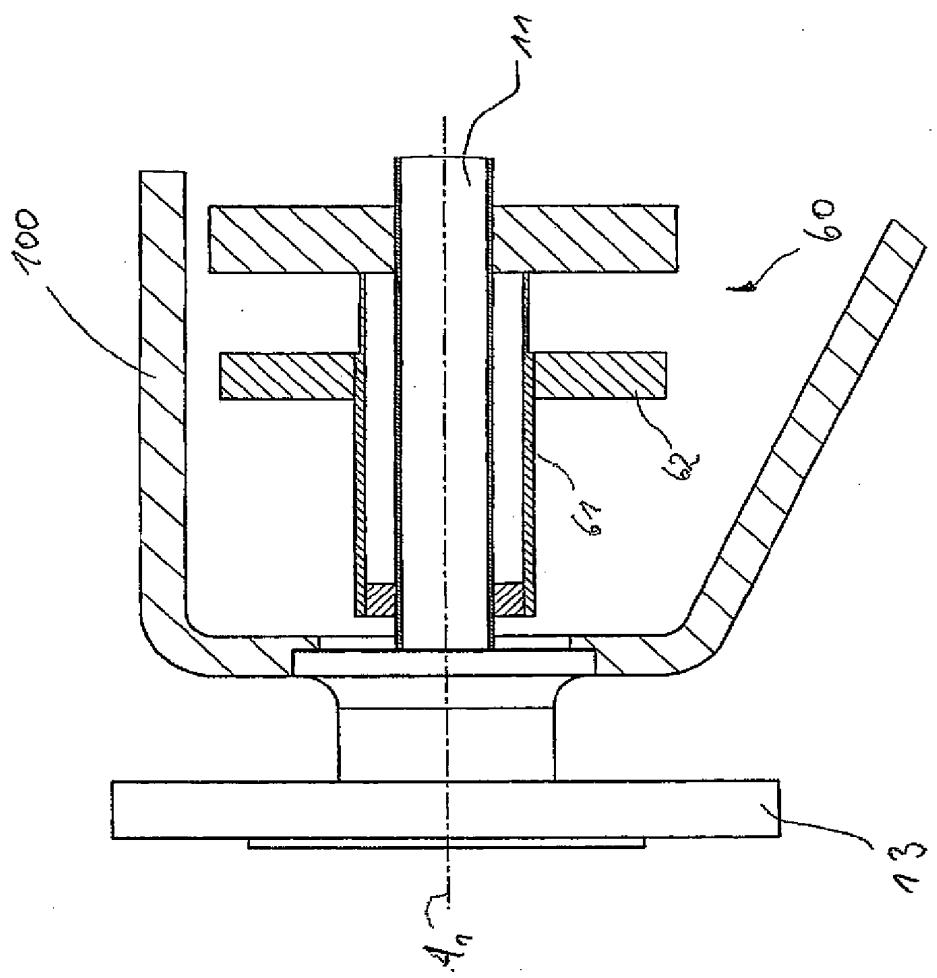


Fig. 4



| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE  |  |  |   |
|---|--|--|---|
| Kategorie   | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile  | Betreff Anspruch   | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7) |
| D, A  | EP 0 473 919 A (ROTA YOKOGAWA GMBH & CO KG) 11. März 1992 (1992-03-11)<br>* Spalte 5, Zeile 38 - Spalte 7, Zeile 33; Abbildungen 2,3,5 * | 1,3-5,7, 13  | G01F1/84                                |
| A   | EP 0 598 287 A (OVAL CORP) 25. Mai 1994 (1994-05-25)<br>* Seite 8, Zeile 18 - Seite 9, Zeile 13; Abbildungen 7-9 *                       | 1,3-9,13   |   |
| <b>RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int.Cl.7)</b><br><b>G01F</b>  |  |  |   |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt   |  |  |   |
| Recherchenort:<br><br>DEN HAAG  | Abschlußdatum der Recherche:<br><br>27. November 2001  | Prüfer:<br><br>Rose, A   |   |
| <b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b><br>X: von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y: von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A: technologischer Hintergrund<br>C: nichtschriftliche Offenbarung<br>P: Zwischenliteratur |  | T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E: älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D: in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>I: aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>&: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |   |

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 01 11 2546

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Orientierung und erfolgen ohne Gewähr.

27-11-2001

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |   | Datum der<br>Veröffentlichung |    | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie |            | Datum der<br>Veröffentlichung |
|--|---|-------------------------------|----|-----------------------------------|------------|-------------------------------|
| EP 0473919   | A | 11-03-1992                    | DE | 4027936 A1                        | 05-03-1992 |                               |
|  |   |                               | DE | 9117157 U1                        | 18-07-1996 |                               |
|  |   |                               | DE | 59108324 D1                       | 12-12-1996 |                               |
|  |   |                               | EP | 0473919 A1                        | 11-03-1992 |                               |
|  |   |                               | JP | 7239261 A                         | 12-09-1995 |                               |
|  |   |                               | JP | 4256812 A                         | 11-09-1992 |                               |
|  |   |                               | US | 5549009 A                         | 27-08-1996 |                               |
| EP 0598287   | A | 25-05-1994                    | JP | 2758798 B2                        | 28-05-1998 |                               |
|  |   |                               | JP | 6160148 A                         | 07-06-1994 |                               |
|  |   |                               | DE | 69327772 D1                       | 09-03-2000 |                               |
|  |   |                               | DE | 69327772 T2                       | 29-06-2000 |                               |
|  |   |                               | EP | 0598287 A1                        | 25-05-1994 |                               |
|  |   |                               | US | 5398554 A                         | 21-03-1995 |                               |

EP0 FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82